

Miikka Jäntti

# Eristeiden energiatehokkuus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

8.3.2016

Tekijä(t) Otsikko	Miikka Jäntti Eristeiden energiatehokkuus
Sivumäärä Aika	36 sivua + 1 liite 8.3.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaaja	Eristevalvoja, Jukka Julin Lehtori, Pekka Salonen
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Neste Oyj:lle. Työn tarkoituksena oli tutkia voimalaitoksen 100 bar putkilinjan eristystä ja erityisesti putkilinjan kannakkeiden eristämisen kannattavuutta. Tavoitteena oli selvittää paras tapa eristää putkilinjan kannakkeet, sekä tutkia mikä hyöty kannakkeiden eristyksellä saadaan. Saatujen tuloksien perusteella pyrittiin määrittämään myös mikä putkiston sisällä virtaavan tavarán lämpötilan on vähintään oltava, jotta kannakkeiden eristys olisi kannattavaa.</p> <p>Työssä perehdyttiin eristykseen ja sen haasteisiin, lähinnä haastatteluiden avulla. Työssä tutustuttiin myös lämpökuvaukseen ja sen hyödyntämiseen eristeiden energiatehokkuuden tutkimisessa. Lämpökuvauksien pohjalta saatiin havainnollistettua lämmönsiirtymistä putkistossa ja sen kannakkeissa. Lämpökuvista tehtyjen havaintojen tueksi laskettiin myös lämmönsiirron laskuja.</p> <p>Työn lopputuloksena saatiin selville linjojen kannakkeiden eristämistarve. Lisäksi saatiin vertailua erilaisten eristämistapojen hyvistä ja huonoista puolista. Saatuja tuloksia voidaan hyödyntää jatkossa kunnossapidon eristyspuolen päivittäisessä toiminnassa.</p>	
Avainsanat	Eristys, kannake, lämpökuvaus, energiatehokkuus

Author(s) Title	Miikka Jäntti Energy Efficiency of Insulation
Number of Pages Date	36 pages + 1 appendix 8 March 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructor	Jukka Julin, Insulation supervisor Pekka Salonen, Lecturer
<p>This Bachelor's thesis was commissioned by Neste Oyj. The objective of this Bachelor's thesis was to research the insulation of a power plant's 100-bar steam pipeline and especially to analyze the profitability of the insulation of pipeline supports. The aim was to find out the best way to insulate pipeline supports and also to research the benefits of the insulation process. Based on the results, the lowest temperature where insulation would be profitable was determined as well.</p> <p>The background work regarding insulation and its challenges was based on interviews. Thermal imaging was also used to research the energy efficiency of insulation. The pipeline support's heat transfer was demonstrated by thermal images. In addition, calculations of heat transfer were made to support the discoveries obtained from the thermal images. As a result of this thesis, the necessity of insulation on supports was resolved. In addition to the results, the pros and cons of different insulations styles were examined. In the future the results can be utilized in the power plant's daily operation and in maintenance of insulation.</p>	
Keywords	Insulation, support, thermal imaging, energy efficiency

## Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Työn tavoitteet ja rajaus	2
2	Neste Porvoo	2
3	Eristys	4
3.1	Eristyksen hyödyt	4
3.2	Eristyksen materiaali	5
3.3	Lämpöeristys	6
3.4	Suojaeristys	7
3.5	Jäätymissuojaeristys	7
4	100 bar höyrylinja	8
4.1	Linjan ominaisuudet	8
4.2	Linjan eristyksen haasteet	9
5	Kannakkeet	11
5.1	Rakenne	11
5.2	Eristys	12
5.3	Eristysratkaisut	13
6	Lämpökuvat	16
6.1	Ennen eristystä	16
6.2	Eristyksen jälkeen	20
6.2.1	Malli A	20
6.2.2	Malli B	23
7	Laskut	25
7.1	Lähtötiedot	25
7.2	Ennen eristystä	26
7.3	Eristyksen jälkeen	28
7.3.1	Malli A	29
7.3.2	Malli B	30

7.4	Yhteenveto	31
8	Kustannukset	32
8.1	Malli A	33
8.2	Malli B	33
8.3	Mallivertailu	33
9	Yhteenveto	34
	Lähteet	36
	Liite 1. 100 Bar höyrylinjan tekniset tiedot	

## Lyhenteet

NExBTL	Next generation renewable biodiesel; Nesteen vetykäsitelty biopohjainen dieselpolttoaine.	
ENE	Energialaitos (voimalaitos)	
TL3	Tuotantolinja 3	
OSBL	Outside battery limit	Ulkopuolinen patteriraja
ISBL	Inside battery limit	Sisäpuolinen patteriraja

# 1 Johdanto

Tämä insinöörityö tehtiin Nesteen toimeksiannosta. Tarkoituksena oli tutkia Nesteen voimalaitoksen 100 bar höyrylinjan kannakkeiden eristystä ja sen kannattavuutta. Tavoitteena oli muun muassa selvittää, minkä lämpöisissä putkistoissa kannakkeiden eristys on kannattavaa.

## 1.1 Työn tausta

Opinnäytetyön aiheena on eristeiden energiatehokkuus, tarkemmin määriteltynä kylmäsiltojen pienentäminen kannakkeiden eristämällä. Tarkoituksena oli siis tutkia eristettyjä kuumia linjoja ja linjojen kannakkeiden kohdalla syntyviä kylmäsiltoja, koska kannakekohdissa eristyksissä on aukko. Aiemman kokemuksen perusteella oli tiedossa, että suurimmat lämpöhäviöt tulevat juuri kannakekohdista eikä näiden eristämistä ollut aiemmin tutkittu.

Ennen työn aloitusta mietittiin eristyksien heikkouksia yhdessä Neste Jacobsin mekaanisen päällikön Asmo Aholan, Arme Oy:n eläköityneen teknisen johtajan Osmo Hietasen ja Neste Oy:n eristevalvoja Jukka Julinin kanssa. Näillä henkilöillä on eristämisestä kymmenien vuosien kokemus ja kaikki olivat sitä mieltä, että kannakekohtien lämpöhäviöt ovat eristuksen heikko kohta, mitä voitaisiin saada parannettua. Tarkoituksena oli tutkia, mikä lämpöhyöty saadaan kannakekohtien eristämisestä, sekä huomioida kuinka paljon eristäminen kustantaa. Kustannuksien ja lämpöhyödyn kautta oli tarkoitus arvioida, kuinka kannattavaksi kannakkeiden eristäminen osoittautuu.

Nesteellä on omat spesifikaatiot eristykseen ja siinä vaadittaviin asioihin. Tässä ei ole juurikaan aiemmin huomioitu kannakekohtia ja niiden eristämistä, joten työssä saaduista tuloksista riippuen kannakkeiden eristyskohta voitaisiin tarvittaessa lisätä spesifikaatioihin. Tätä varten oli selvitettävä lämpötila, missä kannake-eristys on hyödyllistä ja paras tapa eristää kannake, jotta putken eläminen ei riko eristystä.

## 1.2 Työn tavoitteet ja rajaus

Tutkittava alue päädyttiin rajaamaan voimalaitoksen 100 bar höyrylinjaan. Tämä putkilinja valittiin, koska sen muu eristys uusittiin kokonaan kesällä 2010, joten sen lämpöhäviöiden tutkimiseen oli hyvät lähtökohdat. Työssä saatuja tietoja ja eristysratkaisuja pystytään hyödyntämään myös muissa kohteissa, sillä tässä kohteessa on samoja haasteita eristuksen kannalta kuin muissakin putkilinjoissa.

Työn tärkein tavoite oli tutkia kannakkeiden eristämisen kannattavuutta. Mikäli eristäminen osoittautuisi kannattavaksi, saataisiin eristeiden energiatehokkuutta nostettua. Tällöin saatuja tuloksia ja ratkaisuja voitaisiin hyödyntää muiden jalostamon alueiden putkilinjoilla, mikäli lämpötilat vastaavat työssä havaittuja rajoja.

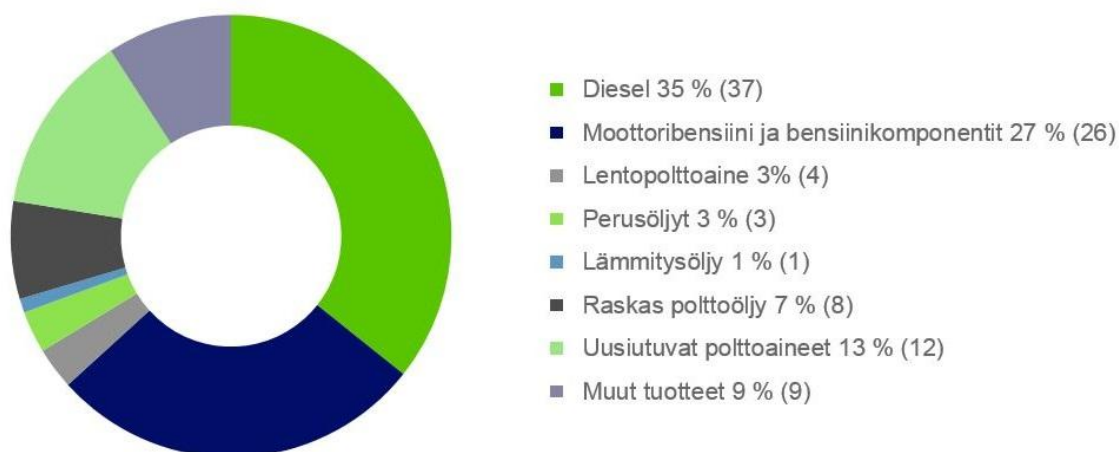
## 2 Neste Porvoo

Nesteen Porvoon jalostamo sijaitsee Kilpilahden teollisuusalueella. Se on pohjoismaiden suurin kemian alan keskittymä, pinta-alaltaan 1 300 hehtaaria. Alue työllistää n. 3 500 työntekijää, ja sen lisäksi alueella on useita palvelutoimittajia. Neste Oy:n lisäksi alueella toimivat Neste Jacobs Oy, Oy AGA Ab, Borealis Polymers Oy, Gasum Oy ja Innogas Oy [1, s.7].

Neste konsernin suurin jalostamo sijaitsee Porvoossa. Porvoon jalostamo on niin tuotantokapasiteetiltaan kuin henkilömäärältäänkin yhtiön suurin jalostamo. Koko Neste konsernissa työskentelee noin 5 000 työntekijää 15 eri maassa [2, s.4]. Porvoon jalostamo on yksi Euroopan kehittyneimmistä ja monipuolisimmista jalostamoista. Jalostamo on jaettu eri alueisiin kuten öljynjalostamo, säiliöalue, satama, rautatieterminaali, jakeluterminaalia, voimalaitos ja teknologiakeskus.

Porvoon jalostamon tuotantokapasiteetti on 13,5 miljoonaa tonnia vuotta kohden. Tämä määrä valmistuu yli 40 prosessiyksiköstä, joista syntyy yli 150 eri tuotetta/tuotekomponenttia [1, s.16 - 17]. Päätuotteina ovat rikittömät liikennepolttoaineet: bensiini, diesel sekä uusiutuvat polttoaineet. Muita tuotteita ovat raskas polttoöljy, lentopolttoaine, lämmitysöljy ja muut pienemmät tuotteet (Kuva 1). Pääraaka-aineena toimii venäläinen raakaöljy, mutta Porvoossa valmistetaan myös uusiutuvaa NEXBTL-dieseliä, jonka raaka-aineina ovat jätteet ja tähteet [3, s. 6].





Kuva 1. Nesteen myynti omasta tuotannosta tuotelajeittain vuonna 2014. Havainnollistaa myyntiä tuotekohtaisesti [2, s.8].

Porvoon tuotannosta n. 33 % jää kotimaan markkinoille ja loput lähtevät vientiin, lähinnä Pohjoismaihin, Keski-Eurooppaan ja Pohjois-Amerikkaan. Vienti on siis iso osa tuotteiden myynnistä, ja tämä myös näkyy jalostamalla liikenteen eri muodoissa, sillä satamassa käy vuosittain 1 200 – 1 400 laivaa, jakeluterminaalissa lastaa päivittäin noin 300 säiliöautoa ja junakuljetuksia on n. 50 vaunullista vuorokaudessa [1, s. 33 - 35].

### Organisaatio

Nesteen organisaatio koostuu useista eri osastoista ja niiden toiminnoista. Osastot ja niiden toiminnot on koetettu luoda niin, että niiden yhteistoiminta olisi mahdollisimman sujuvaa ja helppoa.

Eristys kuuluu pääsääntöisesti kunnossapidolle, sekä Neste Jacobsille. Tässä työssä tehtävät eristystyöt toteutetaan kunnossapidon kanssa ja voimalaitoksen kunnossapidon eristysurakoitsijan toimesta.

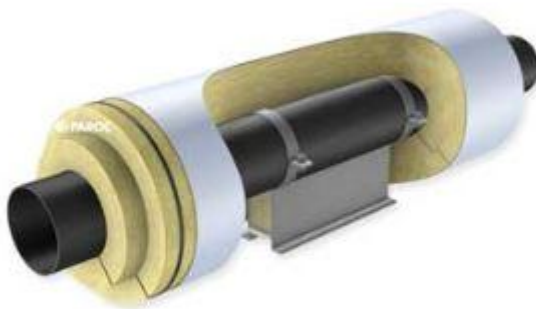
Neste Jacobsin vastuulla ovat projektityöt. Eristyksistä puhuttaessa heillä on siis suuria kokonaisuuksia, kun kunnossapidolla on laajemmalla kirjolla erityyppisiä ja -kokoisia työkohteita. Projektityöt ovat hyvin usein etukäteen suunniteltuja, kun taas kunnossapitotyöt ovat enemmän vaihtelevia ja tulevat toteutettaviksi välillä hyvinkin nopealla aikataululla.

### 3 Eristys

#### 3.1 Eristyksen hyödyt

Eristys on tärkeä osa jalostamon päivittäistä toimintaa. Eristyksien avulla laitteet saadaan toimimaan halutulla tavalla haastavissa olosuhteissa, ja samalla tehdään työskentelystä turvallisempaa. Eristys tuo siis prosessille käyttövarmuutta ja prosessi saadaan toimimaan halutulla tavalla, kuten oikealla lämpötilalla. Eristyksen avulla pystytään siis hallitsemaan energiavirtoja, mikä vaikuttaa suoraan kustannuksiin ja taloudelliseen tulokseen. Oikein suunnitellulla ja toteutetulla lämpöeristyksellä vähennetään energiakulutusta ja päästöjä eli saadaan prosessin suorituskykyä parannettua. Voidaan siis todeta eristyksen pienentävän prosessista syntyvää rasitusta, jolloin toiminnallinen elinkaari pitenee.

Eristyksien avulla saadaan eri laitteiden ja putkistojen kuumia pintoja peitettyä, niin ettei kukaan polta itseään kuumien laitteiden läheisyydessä. Eristeen päälle tulevan pellin pintalämpötila on huomattavasti pienempi kuin laitteen oma pintalämpötila. Eristeillä on monenlaisia erilaisia tarkoituksia, kuten lämpö-, palo-, ääni- ja jäätymisenestoeristys. Eristyksellä on myös sivuhyötyjä. Vaikka eristys tehdään yleensä prosessin kannalta tärkeän syyn vuoksi kuten esimerkiksi linjan lämpötilan pitäminen korkealla tai jäätymisen estäminen, samalla eristys laskee melua ja lisää paloturvallisuutta. (Kuva 2.)



Kuva 2. Esimerkki putken liukukannakekohdan eristämisestä. [4]

Eristystä tarvitaan monissa vaativissa kohteissa. Kohteet vaihtelevat hyvin paljon kooltaan ja muodoltaan ja välillä sijaintikin aiheuttaa omat haasteensa eristämiseksi. Porvoon jalostamolla on monenlaisia kohteita, joissa eristystä tarvitaan.

Näitä ovat

- prosessin erilaiset laitteet (uunit, kolonnit, lämmönvaihtimet...)
- säiliöt
- putkistot
- pumpput/turbiinit
- venttiilit
- instrumentit.

Kohteiden paljouden johdosta eristystyöt on tehtävä monien eri ammattialojen kanssa yhteistyössä. On esimerkiksi sovittava milloin eristeet otetaan pois, että jokin ammattiala pääsee töihin kohteeseen. Yhtä tärkeä on myös sopia eristyksien takaisin laitosta, jotta kaikkien eristeiden alle jäävien laitteiden kaikki työvaiheet on suoritettu oikein ja loppuun asti.

Eristyksien suunnittelu on myös tärkeää. Hyvä suunnittelu takaa sen, että eristyksien asentaminen on ammattilaiselle helppoa ja eristeet voidaan purkaa ja asentaa takaisin niin, ettei niitä tarvitse uusia. Hyvällä suunnittelulla lisätään siis eristeiden kustannustehokkuutta.

### 3.2 Eristyksen materiaali

Neste on asettanut eristysmateriaalille muutamia vaatimuksia. Materiaalien tulee olla vettä hylkiviä, palamattomia ja lahoamattomia. Tämän lisäksi materiaali ei saa sisältää mitään aineita, jotka voivat syövyttää eristettävää kohdetta. Eristeet myös suojaavat kohteita korroosiolta, sillä materiaalien hylkiessä vettä ei laitteen pintaan pääse syntymään kosteutta. Materiaalit on suunniteltu korkeille lämpötiloille käytettäväksi, joten korkeat

lämpötilat eivät kuluta eristysmateriaalia, jolloin eristeen käyttöikä ei ole verrannollinen kohteen lämpötilaan.

Yleisimpiä eristysmateriaaleja jalostamon alueella ovat mineraalivillakourut, -verkkomatot ja levyt. Nämä materiaalit täyttävät standardit SFS 3976 ja SFS 3978.

Niille on kuitenkin asetettu myös seuraavia lisävaatimuksia [5]:

- eristeen sulamislämpötila  $> 1\,000\text{ °C}$
- materiaalin kloridipitoisuus ei saa olla yli 30 ppm
- nimellistiheys  $\rho \geq 100\text{ kg/m}^3$ .

Eristemateriaalin päälle asennetaan vielä peltilevyä. Kuten itse eristysmateriaalin, niin myös päällyslevyn paksuus ja vaadittavat ominaisuudet vaihtelevat. Päällyslevyn paksuus riippuu esimerkiksi eristyskohteen koosta ja sijainnista. On huomioitava, onko esimerkiksi putkisto semmoisessa paikassa, että sen yli mennään. Tällöin päällyslevyn on oltava paksumpaa. Säiliöeristyksessä käytetään suoraa peltiä, sekä myös profiloitua peltiä riippuen siitä, mitä säiliön sisällä on.

Päällyslevyt ovat myös värjättyjä, ja näiden värjäyksien avulla pystytään havainnoimaan, minkä tyyppistä tuotetta kohteen sisällä on.

### 3.3 Lämpöeristys

Nimensä mukaisesti lämpösuojaeristyksellä pyritään estämään lämmön siirtyminen kohteesta ympäristöön. Lämpöeristystä käytetään hyvin monissa kohteissa Nesteen alueella.

Pääsääntönä lämpöeristykselle on, että eristettävän kohteen sisällön on oltava yli  $10\text{ °C}$  lämmintä ja lämmön on oltava ns. hyötylämpöä. Eristepaksuus määritellään kohteen käyttölämpötilan mukaan olosuhteet huomioiden [5].

### 3.4 Suojaeristys

Suojaeristystä käytetään suojaustarkoituksessa kohteissa, joiden sisälämpötila on yli 70 °C, mutta joissa ei kumminkaan vaadita lämpöeristystä eli kohteessa oleva lämpö ei ole ns. hyötylämpöä.

Suojauseristyksen päämääränä on suojella alueella työskenteleviä palo- ja tapaturma-vaaroilta. Spesifikaatiossa on määritetty, että suojauseristyksen on ulotuttava vähintään 2 m:n korkeuteen käyttötasosta ja 1 m:n päähän hoitotason ja kulkutien reunasta [5].

### 3.5 Jäätymissuojaeristys

Jäätymissuojaeristystä käytetään nimensä mukaisesti suojaamaan eristyskohteen sisälön jäätymistä. Eristyksen paksuus mitoitetaan myös tapauskohtaisesti kohteen sisälämpötilan ja olosuhteiden mukaan [5]. Kohteissa, joissa käytetään jäätymissuojaeristystä, on myös yleensä höyry- tai sähkösaatot, jotka auttavat linjaa pysymään sulana. (Kuva 3.)



Kuva 3. Eristeen alle on asennettu sähkösaatot jotka pitivät linjan lämpötilan yli 0 °C, ettei se pääse jäätymään.

## 4 100 bar höyrylinja

### 4.1 Linjan ominaisuudet

100 bar höyrylinjassa kulkee nimensä mukaisesti höyryä. Linja lähtee voimalaitokselta, jossa höyry tuotetaan. Voimalaitoksella tuotetaan suurin osa Nesteen jalostamolla käytettävästä höyrystä. Linjaa tarkasteltiin nyt voimalaitokselta tuotantolinja kolmelle (TL 3) menevältä osuudelta, toisin sanoen OSBL-alueelta ISBL-alueelle.

Höyrylinjan linjatunnus on 150 YS 10301-FBA, tämä käsittää siis matkan voimalaitokselta TL 3:lle. Linjan perustiedot ovat:

- ulkohalkaisija on 193,7 mm
- materiaali 10CrMo910
- käyttölämpötila 520 °C
- käyttöpaine 9800 KPa
- virtaukset välillä 26 – 32 t/h
- eristyspaksuus 240 mm.

Höyrylinjan eristys on toteutettu kaksikerroseristysenä, jossa eristettä on kaksi kerrosta päällekkäin. Kerroksittain eristämällä saadaan saavutettua haluttu eristyspaksuus sekä haluttu eristettävyyys. Monikerroseristyksessä saadaan pyöreiden muotojen eli esimerkiksi linjojen eristys pysymään hyvänä ja eristyksien eri kerrosten saumakohtat saadaan eri kohtiin. Saumojen saaminen eri kohtiin vähentää lämmön karkaamista eristeiden välistä. Linjan tekniset tiedot on esitetty liitteessä.

#### 4.2 Linjan eristyksen haasteet

Höyrylinjan eristämiseen liittyy omat haasteensa. Vaikeimpia kohtia linjan eristyksessä ovat linjan kurvit ja kannakkeet. Kurvien eristys saadaan toteutettua parhaiten monikerroseristyksellä tai huopaa ja verkkomattoja käyttämällä.

Linja on erittäin kuuma ja siinä esiintyy lämpötila- ja virtausvaihtelua riippuen kuormituksesta. Näistä muutoksista johtuen linja elää jonkin verran. Linjan elämisen seurauksena kannakkeet eivät voi olla kiinteästi kiinni missään, vaan ne makaavat poikittaistukien päällä. Tämän avulla kannake pääsee liikkumaan poikittuen päälle linjan eläessä ja näin ollen kannakkeista ei aiheudu ylimääräisiä voimia putkeen tai eristykseen. Kuvassa 4 on havainnollistettu putkilinjan kannaketta.



Kuva 4. 100 bar höyrylinjan putkikannake.

Linjan olosuhteiden muuttumisesta johtuen eristeet ovat kovilla. Eristepellit saattavat joskus revetä liitoksistaan olosuhdevaihteluista johtuen, tätä havainnollistaa kuva 5.





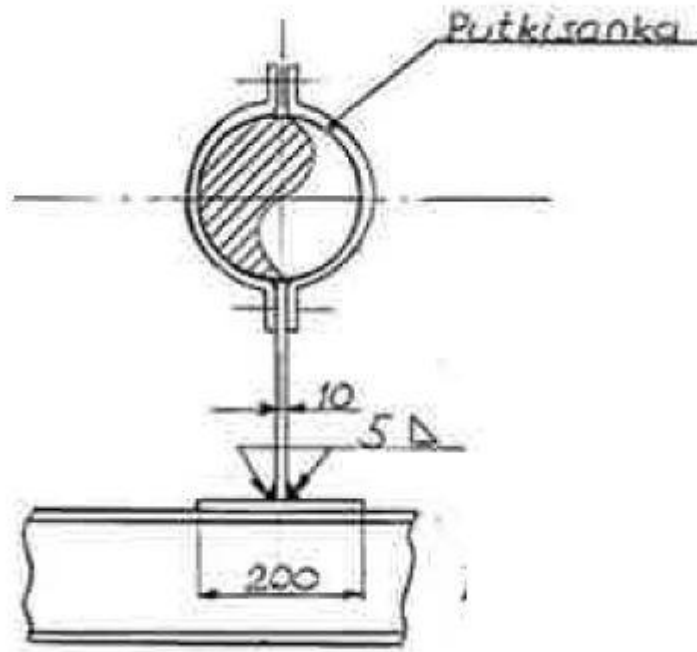
Kuva 5. Esimerkki 100 bar höyrylinjan putken elämisestä ja eristeen rikkoutumisesta.

## 5 Kannakkeet

### 5.1 Rakenne

100-bar höyrylinjalla putkikannakkeet tukevat putken kulkemaan tukirakenteiden päällä. Putkikannakkeita on n. 170 kpl ja niitä on linjalle asennettu kuuden metrin välein. Putkikannakkeita on muutamaa erilaista vaihtoehtoa, ja niiden käyttö riippuu putkilinjan kohdasta ja tuentamahdollisuuksista.

Putkikannakkeet ovat joko hitsattavia tai pultattavia. Pultattavat kannakkeet koostuvat kahdesta eri osasta, putkisangasta ja luistista (Kuva 6.). Pulttavissa kannakkeissa jo itse kannake tuo kelluvuutta putken elämistä varten. Hitsattavat kannakkeet taas vaativat sen, että ne asettuvat poikkituen päälle niin, ettei putken elämisestä syntyvää liikettä rajoita mikään kumpaankaan suuntaan.



Kuva 6. Putkisanka ja luisti kannakkeen päällä

Putkikannakevaihtoehdot eroavat rakenteeltaan, mutta ovat samaa materiaalia. Tässä opinnäytetyössä valittiin tarkkailtavaksi hitsatut putkikannakkeet. Tämä johtuen siitä, että hitsattava kannake koostuu yhdestä osasta, joka on hitsattu kiinni. Näin ollen voidaan olettaa lämmönsiirron kannalta putken ja kannakkeen olevan samaa kappaletta, kun kannake ja putki ovat samaa materiaalia.

Tarkasteltavaksi otettiin kolme eri hitsattua kannaketta. Kannakkeet pyrittiin valitsemaan niin, että ne sijaitsisivat eri kohdissa putkistoa. Päädyttiin valitsemaan yksi kannake keskeltä suoraa, toinen kurvia ennen ja kolmas kurvin jälkeen. Näiden valintojen avulla pystytään havaitsemaan, mikäli lämpöä pääsee karkaamaan enemmän eri kohdissa johtuen linjan muotoilusta.

## 5.2 Eristys

Nesteen jalostamolla ei ole linjojen kannakkeita eristetty, eikä siitä ole mitään vaatimuksia. Lämpökuvauksen avulla on todettu, että monissa linjoissa suurimmat lämpöhäviöt tapahtuvat kannakkeiden kautta, koska linja on muilta osin eristetty. Edellä mainituista

syistä johtuen kannakkeiden eristystä alettiin miettimään ja suurimmat kysymykset olivat sen kannattavuus ja kustannustehokkuus.

Kannakkeiden eristys on haastavaa ja se voidaan tehdä monella tapaa. Tarkoituksena oli löytää paras eristystapa, jossa on huomioitu lämpöhäviöiden minimoiminen sekä kustannustehokkuus.

Lämpöhäviöitä huomioitaessa pyrittiin ottamaan huomioon lämpökuvista havaittuja kuumia pisteitä. Niiden avulla pystyttiin arvioimaan eristystarvetta ja sitä, kuinka pitkälle eristettä laitettiin. Eristyksien pituutta määrittelevät myös poikkituet, joiden päällä kannakkeet makaavat.

Kustannustehokkuutta huomioitiin eristeiden suunnittelussa. Eristys pyrittiin suunnittelemaan kestäväksi olosuhteet huomioiden. Kannake-eristys ei voinut tulla liian ylös putken eristuksen päälle, sillä liitos jäisi ylöspäin auki, jolloin sadevedet pääsisivät valumaan kannakkeen eristuksen sisään. Ajan myötä tämä huonontaisi eristävyyttä ja lyhentäisi eristeen ikää, jolloin uusimisväli olisi lyhyempi.

Eristyksen muotoilun lisäksi haastavaksi osoittautui eristuksen rasituksen kestävyys. Linjan lämpö- ja virtausvaihtelut aiheuttavat pientä elämistä linjassa, joten eristeissä pitää olla liikuntavaraa kannakkeen ja tuentapalkin suhteen.

### 5.3 Eristysratkaisut

Kannakkeiden eristykseen mietittiin parhaita ratkaisuja eri ominaisuuksien kannalta. Mietinnässä oli niiden asennus sekä olosuhteiden ja rasituksen kestävyys. Asennusta pohdittaessa pyrittiin huomioimaan eristeiden asennus vaivattomasti, jotta eristeet pystytään purkamaan ja asentamaan takaisin ilman uusimista.

Olosuhteita mietittäessä esille tuli eristeiden kuivana pysyminen ja se miten eristevillan pellit saadaan parhaiten asennettua, jotta niihin ei pääsisi kohdistumaan rasitusta.

Kuvassa 7 on kannakkeen eristys mallilla A. Kannakkeet ennen ja jälkeen kurvin on eristetty mallin A mukaisesti. Kannake on eristetty lisäämällä eristevillaa ja peltiä kannakkeen ympärille. Höyrylinjan eristettä ei ole muutettu kannakkeen kohdalta, vaan kannakkeen eristyspellit on laitettu peltiruuveilla kiinni jo aiemmin olleeseen eristepeltiin. Kannakkeen eristyspellin yläreuna on jätetty mahdollisimman alas, jotta pellin sauma ei altistu niin paljon sadekeleillä ylhäältä alaspäin valuvalle vedelle.



Kuva 7. Eristysratkaisu malli A

Kannakkeen pohjaa jätettiin eristämättä. Eristeet on laitettu siis juuri kannakkeen ja tukipalkin rajapintaan asti. Näin olleen eristyksen pitäisi kestää erittäin hyvin höyrylinjan eläminen, kun kannake pääsee liikkumaan tukipalkin päällä samalla tavalla kuin ennen eristeiden asennusta.

Kuvassa 8 on eristysratkaisu mallin B mukaisesti. Höyrylinjan suoralla osuudella oleva kannake on eristetty tämän mallin mukaisesti. Eristysratkaisuna käytettiin koteloa, joten eristeet on helppo purkaa ja asentaa takaisin.



Kuva 8. Eristysratkaisu malli B

Eristyskotelo on tehty niin kannakkeen kuin höyrylinjankin ympärille. Tällä eristysratkaisulla putken eläessä se liikkuu eristyskotelon sisällä ja eristyskotelon pitäisi pysyä paikallaan. Tästä syystä eristys on viety kannakkeesta alaspäin niin, että osa kannakkeen tuentapalkista on myös eristyskotelon sisällä. Näin ollen kannakkeen tuentapalkista on sen lämpöisin osa eristettynä, jolloin ulkoiset olosuhteet eivät pääse vaikuttamaan siihen.

## 6 Lämpökuvat

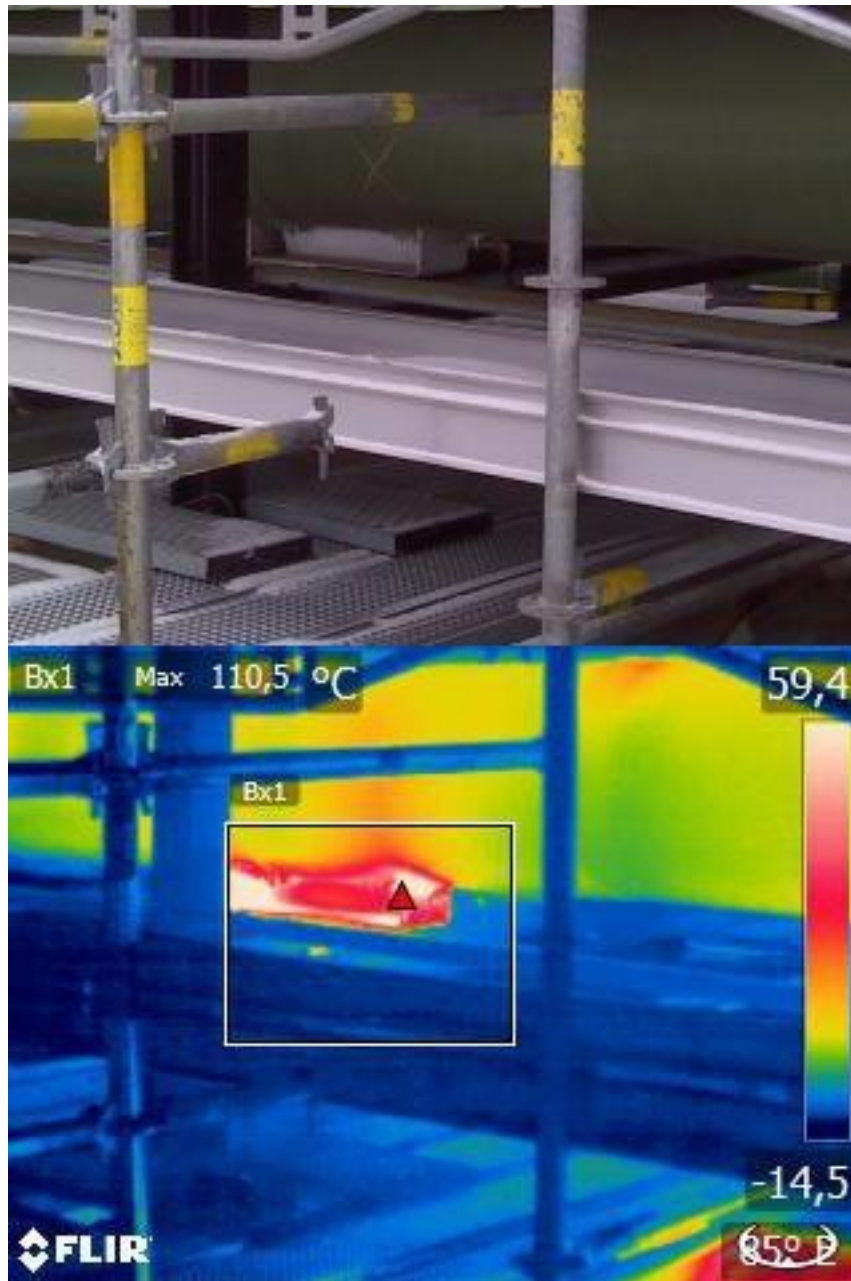
Eristettävät kohteet päätettiin lämpökuvata, jotta saadaan selville putkesta kannakkeeseen johtuva lämpö. Lämpökuvaukset suoritettiin FLIR T-440 lämpökameralla ja kuvia katseltiin FLIR Tools ohjelmalla. Lämpökuvien avulla päästiin vertaamaan lämpötilaeroja riippuen putken kohdasta. Lämmön johtumista tapahtuu myös kannakkeen alla olevassa tukipalkissa, mutta tukipalkin lämpötila on myös riippuvainen ulkolämpötilasta. Tästä johtuen tukipalkin lämpötila on aina pienempi kuin kannakkeen, joten tukipalkki vaikuttaa alentavasti kannakkeen lämpötilaan.

Lämpökuvauksia suoritettiin ennen ja jälkeen eristystä. Näistä kuvista saadaan jo karkeata arviota, kuinka paljon eristys vaikuttaa lämmön siirtymiseen. Lämpökuvista saadaan kuumat ja kylmät pisteet, joiden avulla suoritetaan eristeiden hyödyt laskennallisesti.

### 6.1 Ennen eristystä

Ennen eristämistä otetut kuvat on otettu tammikuussa 2016. Olosuhteet ovat siis olleet melko talviset, pientä tuulta ja reilu  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n pakkasen. Vallitsevat olosuhteet olivat siis kylmimpiä mitä lämpimiin kannakkeisiin kohdistuu vuoden aikana. Kesällä olosuhteet ovat suotuisammat eivätkä ulkoiset tekijät viilennä kannakkeita niin paljoa.

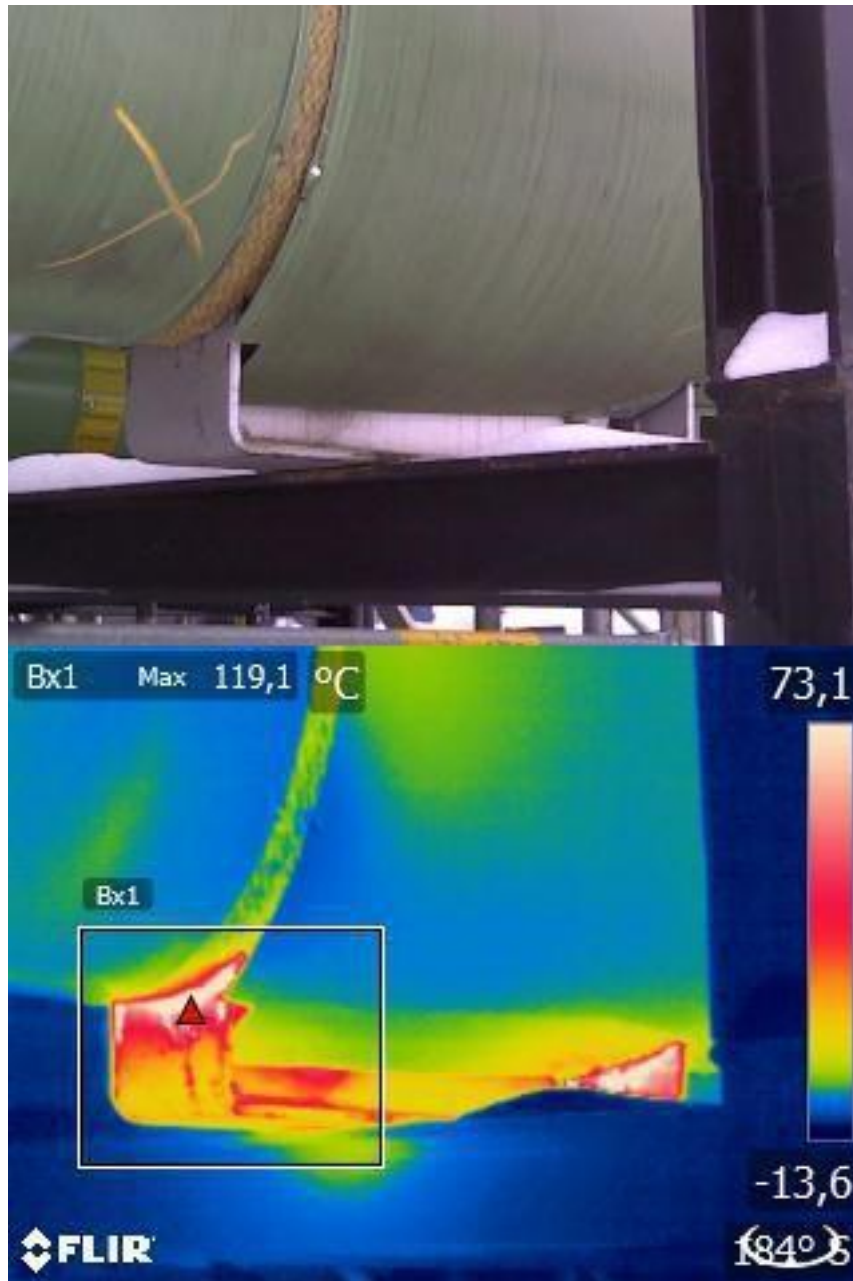
Kuvassa 9 havaitaan ensimmäinen eristettävä kohde. Kuva koostuu normaalista valokuvasta sekä lämpökuvasta. Kuvasta voidaan tulkita kannakkeen kuumimman pisteen olevan 110,5 °C, ja kylmimmät paikat kuvassa ovat -14,5 °C. Kuitenkin tarkemmin kuvaa tarkastelemalla saatiin kannakkeen tukipalkin lämpötilaksi -4 °C.



Kuva 9. Ensimmäinen eristettävä kannake, joka sijaitsee suoralla putken osuudella.



Kuvassa 10 on kurvin jälkeen oleva kannake. Kuvasta havaitaan, että eristepelti on re-vennyt auki liitoksestaan ja lämpökuvasta näkee lämpövuotoa tältä kohdalta. Kannakkeen kuumin kohta on 119,1 °C, ja kannakkeen poikkituen lämpötila on -7 °C.

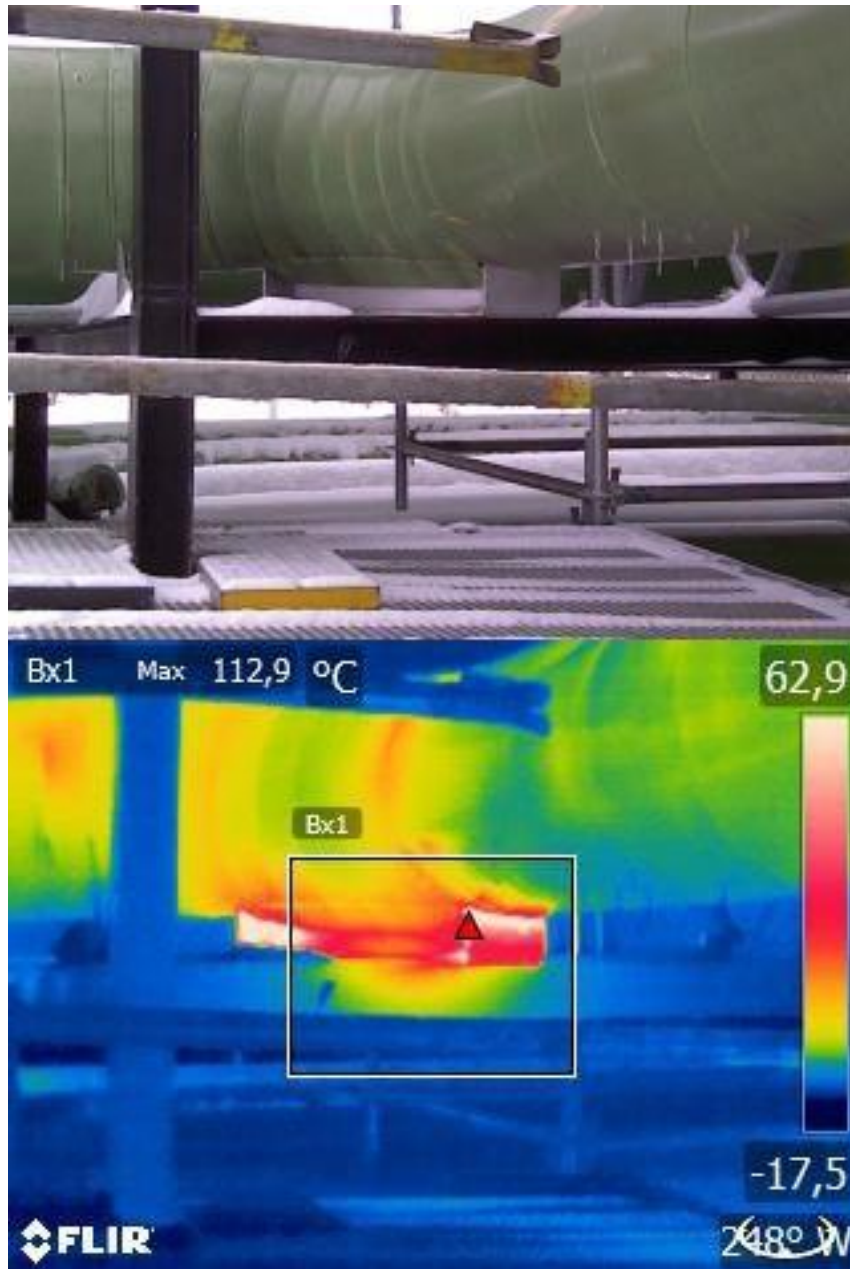


Kuva 10. Toinen eristettävä kannake, joka sijaitsee kurvin jälkeen.

Ennen kurvia oleva kannake kuvattiin myös, eikä siinä havaittu juurikaan eroa verratta-essa kurvin jälkeen olevaan kannakkeeseen. Lämpötilat kannakkeissa olivat samaa suu-ruusluokkaa muutaman kymmenyksen erolla.



Kuvassa 11 on kannake, joka sijaitsee keskellä kurvia. Kurvissa ei ole mitään normaalia poikkeavaa ja eristeet ovat pysyneet koossa. Kurvin kannakkeen kuumin kohta on  $112,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ja kannakkeen tukipalkki on  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Kuva 11. Kolmas eristettävä kannake, joka sijaitsee keskellä kurvia.

Kurvin keskellä oleva kannake lämpökuvattiin, jotta saatiin vertailukohtia ja havaintoja enemmän kannakkeiden lämpötilavaihteluista suhteessa kannakkeen sijaintiin. Kurvissa olevaa kannaketta ei kuitenkaan eristetty vaan päätettiin valita kannakkeet sen mukaan, että on kaksi lämpöisintä ja yksi viileämpi kannake.

Kuumien pisteiden keskiarvoksi saadaan 114,2 °C, ja tätä voidaan käyttää laskuissa. Kannakkeissa kiinni olevien tukipalkkien kylmien pisteiden keskiarvoksi saadaan -5 °C.

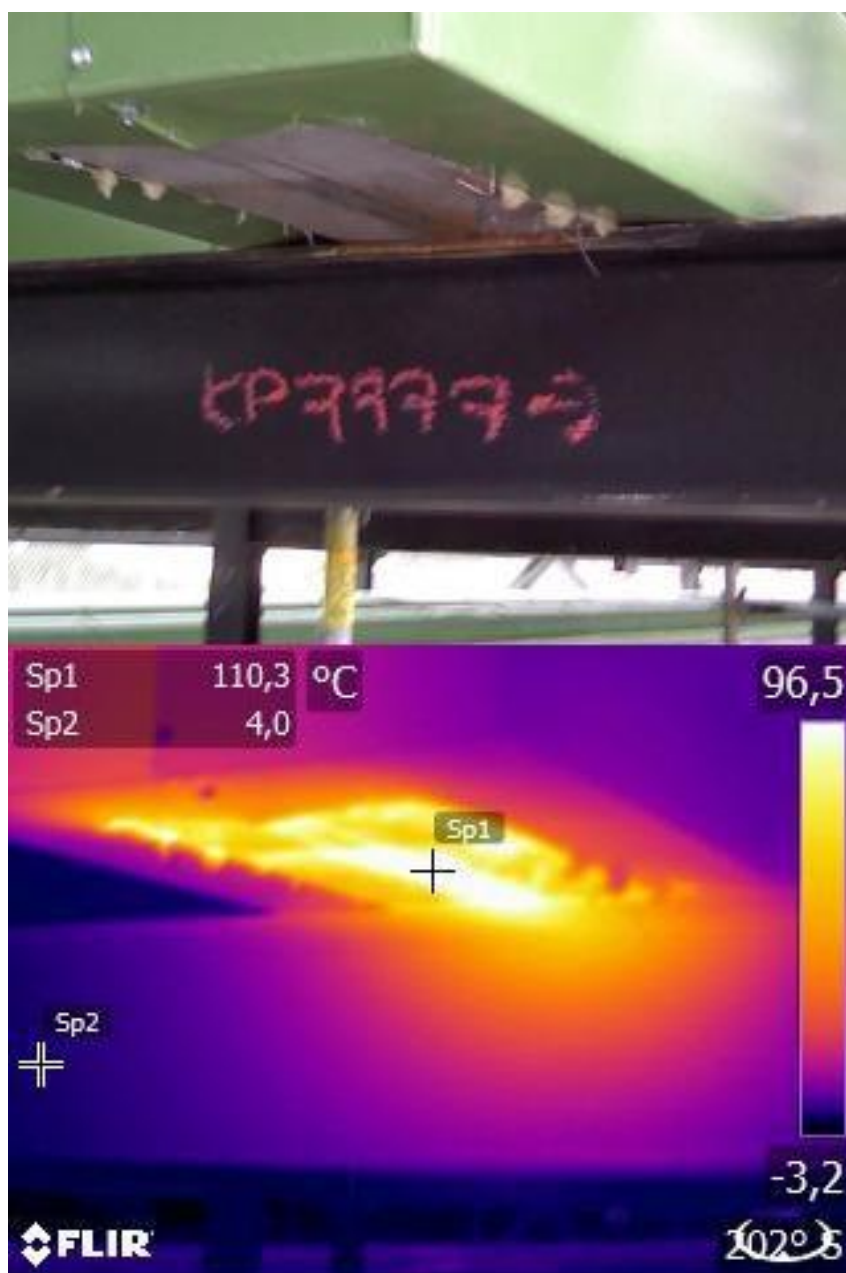
## 6.2 Eristyksen jälkeen

Lämpökuvaukset kannakkeiden eristämisen jälkeen suoritettiin helmikuussa 2016. Olosuhteet olivat vähän suotuisammat, sillä ulkolämpötila oli noin -4 °C ja tuulen vire oli pieni. Tästä johtuen tukipalkin lämpötila oli hieman korkeampi kuin ennen eristystä suoritetuissa lämpökuvauksissa.

### 6.2.1 Malli A

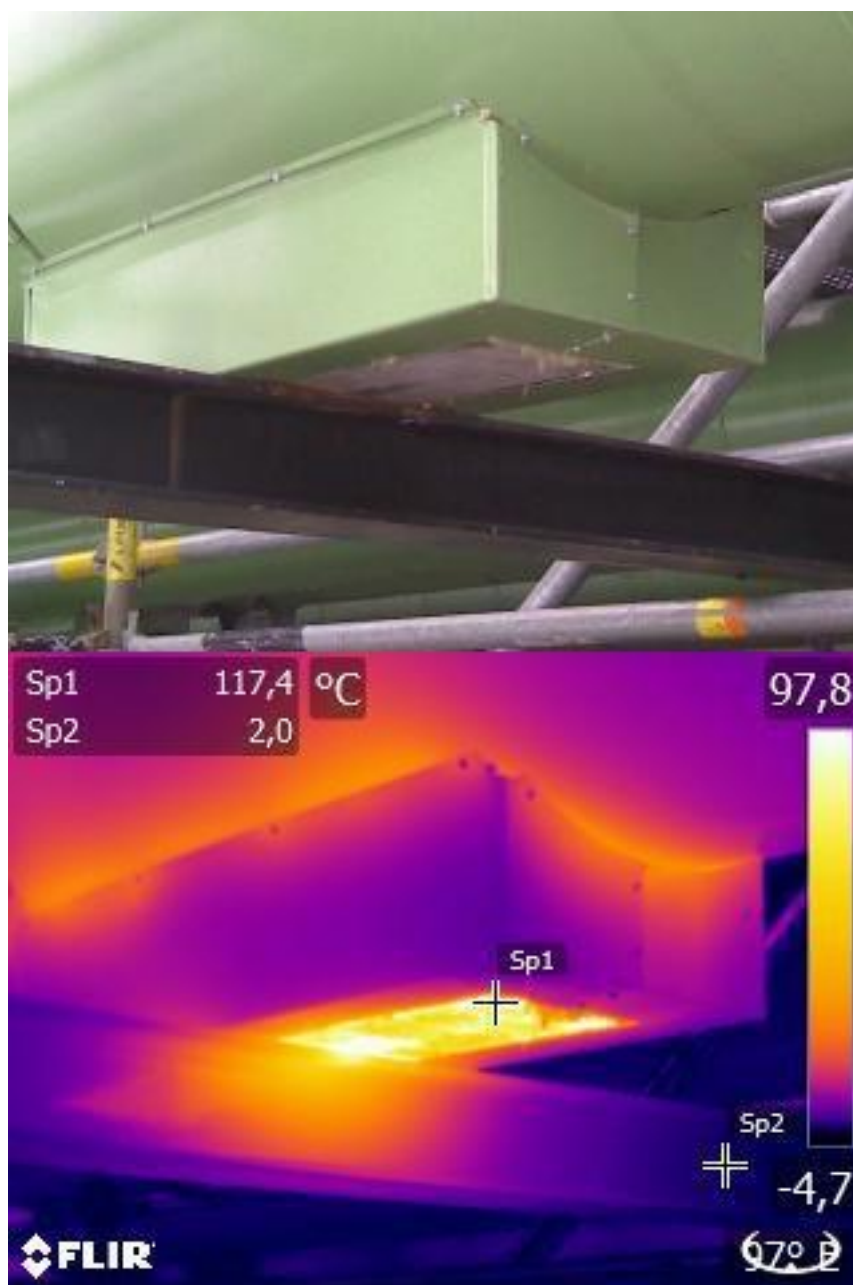
Pienemmän eristysmallin ratkaisua käytettiin kannakkeisiin, jotka olivat ennen ja jälkeen kurvin. Tähän päädyttiin siksi, että saadaan vertailtua kurvin vaikutusta lämpötiloihin ja eristeet eivät eroaisi toisistaan.

Kuvassa 12 on kannake, joka on ennen kurvia. Eristykset näyttivät toimivilta: suurin lämpö tuli kannakkeen pohjasta, joka jäi ilman eristettä. Kuumia pisteitä ei havaittu ol-  
lenkaan eristeiden sauma- tai taittokohdista. Saumakohdista tuli pientä lämpövuotoa, mutta lämmönsiirron kannalta niin pientä, ettei sitä voi pitää merkittävänä. Kannakkeen pohjasta löydetty kuumin piste oli 110,3 °C. Vastaavasti tukipalkin kylmin piste oli 4 °C. Tästä pystymme havainnoimaan sen, että tukipalkin lämpötilat elävät erittäin vahvasti ulkolämpötilan mukaan. Ulkolämpötila nousi kuvauksien välillä 16 °C, ja kurvia edeltävän tukipalkin lämpötila nousi 9 °C.



Kuva 12. Lämpökuva eristetystä kannakkeesta, joka sijaitsee ennen kurvia.

Kuvassa 13 on kurvin jälkeen tuleva kannake. Tästä kuvasta näkyy paremmin eristyksen saumasta tuleva lämpövuoto. Lämpövuodon lämpötila oli alta 10 °C korkeampi kuin muualta eristyksen päältä. Kurvin jälkeen olevan kannakkeen kuumin piste oli 117,4 °C, ja tukipalkin kylmin piste oli 2 °C.



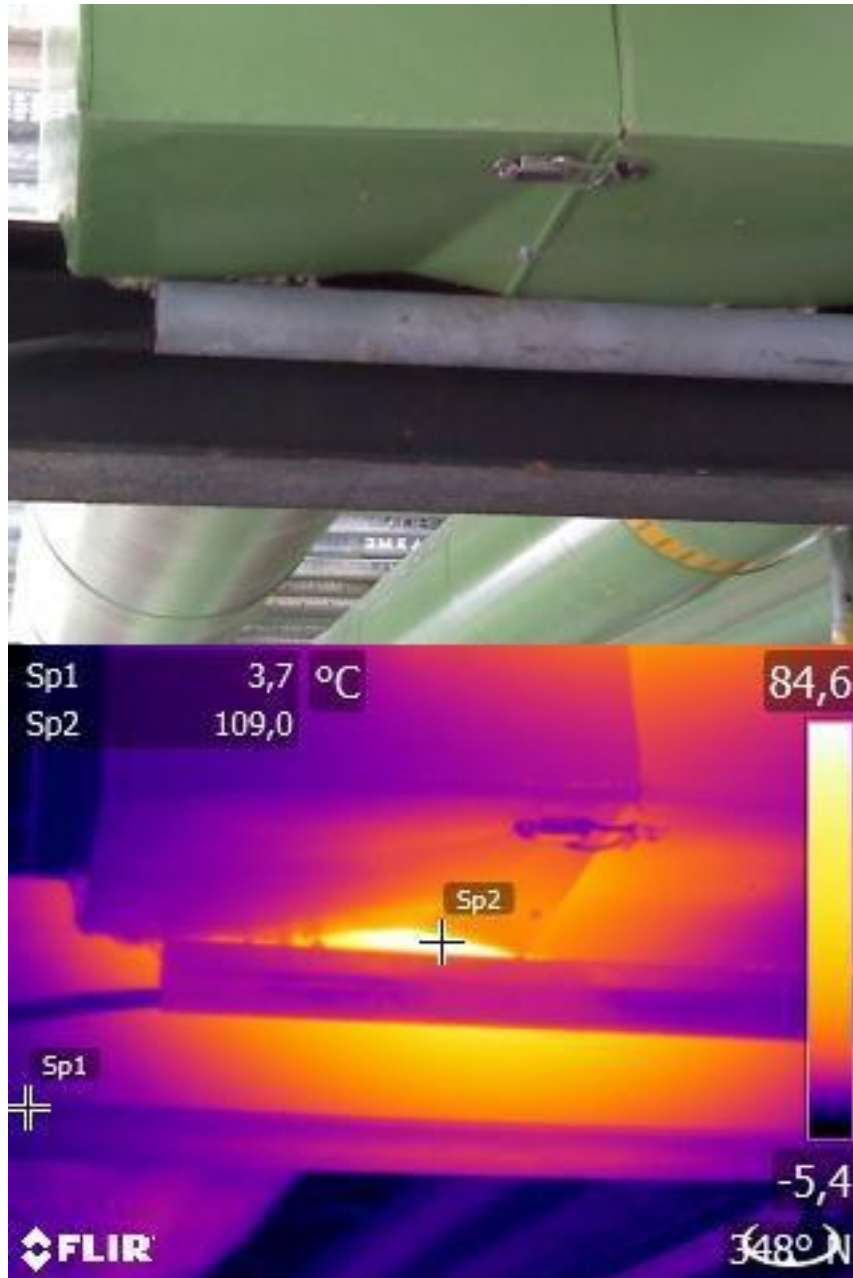
Kuva 13. Lämpökuva eristetystä kannakkeesta, joka sijaitsee kurvin jälkeen.

Näiden kahden kannakkeen kuumien pisteiden keskiarvoksi saadaan siis 113,85 °C ja kylmien pisteiden 3 °C. Näitä kahta kannaketta vertaillen pystymme havaitsemaan kurvin jälkeen olevan kannakkeen olleen kuumempi. Kun tuloksia ennen ja jälkeen eristuksen verrataan keskenään, voidaan todeta että kannakkeen lämpötilat eivät ole juuri-kaan nousseet, mutta tukipalkin lämpötila on noussut. Tämä on osittain seurausta ulkolämpötilan noususta, mutta myös kannakkeen eristyksestä.

#### 6.2.2 Malli B

Linjan suoralla osuudella oleva kannake eristettiin mallin B mukaan. Tässä mallissa kannakkeen pohja ei jää ollenkaan näkyviin, joten oletuksena oli, että kuumin piste on pienempi kuin ennen eristystä. Linjan eläessä on tarkoitus, että eristyskotelo pysyy paikoillaan ja linja elää sen sisällä. Tämän perusteella voidaan olettaa, että kotelon reunakohdassa saattaa esiintyä lämpövuotoa.

Kuvassa 14 on mallin B mukaan eristetty kannake. Kuvasta havaittiin että putken läpiviennin kohdassa lämpötila oli hiukan korkeampi. Kannakkeesta johtuva lämpö tukipalkkiin olikin samaa luokkaa kuin ennen eristystä ja erityksen saumakohdassa syntyvä lämpövuoto oli noin 10 °C:n luokkaa. Kannakkeen ja tuentapalkin kosketuskohdassa kuumin piste oli 109 °C ja tuentapalkin kylmin kohta oli 3,7 °C.



Kuva 14. Lämpökuva eristetystä kannakkeesta, joka sijaitsee linjan suoralla osuudella.

Lämpökuvien tuloksista voidaan havaita, että mallin B eristys ei pienennä lämmön johtumista kannakkeen ja tuentapalkin välissä juurikaan paremmin kuin mallin A eristys. Kuumin sekä kylmin piste olivat samaa suuruusluokkaa mallin B mukaan eristetyssä kohteessa. Lämpövuodot eristyksen saumakohtassa olivat hieman suurempia mallissa B, mutta ei merkittävästi. Saumakohtien lämpövuodot kompensoituvat todennäköisesti sillä, että A-mallin eristyksessä kannakkeen pohjaa jää näkyviin.

## 7 Laskut

### 7.1 Lähtötiedot

Kannakkeiden lämpötilojen avulla laskettiin kannakkeesta tukipalkkiin johtuva lämpöhäviö ( $Q_J$ ), kannakkeesta tapahtuva konvektio ( $Q_K$ ) ja kannakkeesta ilmaan säteilevä lämpöhäviö ( $Q_S$ ).

Kannakkeen keskilämpötila ennen eristystä oli  $114,3\text{ °C}$  ( $T_1$ ), tukipalkin  $-5\text{ °C}$  ( $T_2$ ) ja ulkolämpötila  $-20\text{ °C}$  ( $T_3$ ). Kannakkeen lämpötilasta ja ulkolämpötilasta saadaan keskiarvoksi  $47,15\text{ °C}$ , joten pyöristetään lukemaan  $50\text{ °C}$  jonka mukaan otetaan ilman tiedot  $1\text{ atm:n}$  paineessa. [9]:

- $k = 0,02735\text{ W/m}\cdot\text{K}$
- $\nu = 1,798\cdot 10^{-5}\text{ m}^2/\text{s}$
- $Pr = 0,7228$

Kuvauspäivänä tuulen nopeus oli melko normaalia tasoa ja ilmatieteen laitoksen ilmoittama nopeus oli  $3\text{ m/s}$ . Lähtötietona oli vielä putken kannakkeen emissiivisyys, joka oli  $\epsilon = 0,85$ , sekä kannakkeen että tukipalkin lämmönjohtavuus oli  $k = 50\text{ W /m}\cdot\text{K}$ .

Pinta-aloja tarvitaan laskettaessa lämpöhäviöitä säteilemällä sekä johtumalla. Johtumiseen tarvitaan kannakkeen ja tukipalkin kosketuspinnan pinta-ala, joka on  $A_{Tuki}$ . Vastaa- vasti säteilyyn tarvitaan koko kannakkeen pinta-ala ja se on  $A_{kannake}$ . Nämä pinta-alat on laskettu piirustuksissa annettujen mittojen perusteella. Mitat on varmistettu paikanpäällä käsin mittaamalla.

$$A_{Tuki} = (0,17\text{m}) * (0,115\text{m}) = 0,01955\text{m}^2$$

$$A_{Kannake} = (0,74m) * (0,17m) * (2\ puolta) = 0,2516m^2$$

Pinta-alojen lisäksi tarvitaan dx, joka on kannakkeen yläpinnan ja tukipalkin alapinnan välinen etäisyys, sillä näistä on kuumiin ja kylmiin piste mitattu. Näiden pintojen etäisyys on 0,12m (=dx)

Säteilystä johtuvaan lämpöhäviön laskemista tarvitaan Stefanin-Boltzmannin vakiota.  
 $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

## 7.2 Ennen eristystä

Ennen eristystä saatava lämpöenergian siirtyminen kannakkeesta saadaan laskemalla kannakkeesta johtumalla, säteilemällä ja konvektiolla siirtyvä lämpö.

$$Q_J = k A_{Tuki} \frac{dT}{dx} =$$

$$(50 \text{ W/m} \cdot \text{K}) * 0,01955m^2 * \left( \frac{(114,3 + 273,15K) - (-5 + 273,15K)}{0,12m} \right)$$

$$= 971,797W$$

$$Q_S = \varepsilon * \sigma * A_{Kannake} * (T_1^4 - T_3^4) =$$

$$0,85 * (5,67 * 10^{-8}) * 0,2516m^2 * [(387,45K)^4 - (253,15K)^4]$$

$$= 223,46W$$

$$Q_K = h * A_{Kannake} * (T_1 - T_3)$$



Tästä kaavasta saadaan laskettua konvektion lämpöhäviöt. Kaavassa on tuntematon  $h$ , joka saadaan laskettua seuraavalla kaavalla.

$$h = \frac{k}{L} * Nu$$

Tästä tuntematon on  $Nu$  ja se saadaan seuraavalla kaavalla.

$$Nu = \frac{hL}{k} = 0,664 Re_L^{0,5} * Pr^{1/3}$$

Tässä yhtälössä on tuntemattomana  $Re$ , joka saadaan kaavalla

$$Re = \frac{V * L}{\nu} = \frac{3m/s * 0,17m}{1,798 * 10^{-5}m^2/s} = 28364,849$$

Tämän jälkeen voidaan alkaa laskemaan kaava kerrallaan kohti lämpöhäviötä.

$$\begin{aligned} Nu = \frac{hL}{k} &= 0,664 Re_L^{0,5} * Pr^{\frac{1}{3}} = 0,664 * (28364,849)^{0,5} * 0,7228^{1/3} \\ &= 100,360 \end{aligned}$$

$Nu$ :n avulla saamme seuraavaksi laskettua  $h$ :n arvon kaavalla

$$h = \frac{k}{L} * Nu = \frac{0,02735 \frac{W}{m * K}}{0,17m} * (100,360) = 16,146 W/m^2 * k$$

Nyt kun  $h$  on selvillä niin voimme laskea  $Q_K$  arvon edellä esitetyllä kaavalla

$$\begin{aligned} Q_K &= h * A_{Kannake} * (T_1 - T_3) \\ &= \left( \frac{16,146 W}{m^2} * k \right) * (0,2516 m^2) * (387,45 K - 253,15 K) = 545,571 W \end{aligned}$$

Laskujen avulla saimme tietoon johtumisesta, konvektiosta ja säteilystä johtuvat lämpöhäviöt kannakkeessa.

- johtuminen  $Q_J = 971,80 \text{ W}$
- konvektio  $Q_K = 545,57 \text{ W}$
- säteily  $Q_S = 223,46 \text{ W}$
- $Q_{\text{total}} = 1741 \text{ W}$

Johtuminen tapahtuu kannakkeen ja tukipalkin kosketuksesta toisiinsa. Tähän emme voi nykyisillä eristystoiminnoilla vaikuttaa. Konvektio ja säteily johtuvat kannakkeesta säteilevästä lämmöstä, sekä ulkoilman viilentävistä vaikutuksista kannakkeeseen.

### 7.3 Eristyksen jälkeen

Luonnollisesti eristyksien jälkeen lämpöhäviöt ovat pienemmät. Eristyksen avulla saadaan lämpösäteily ja konvektio pienemmäksi. Eristyksellä ei johtumista saada pienemmäksi, vaan oletuksena oli, että johtumisesta tapahtuva lämpöhäviö saattaa jopa kasvaa. Konvektiossa ja lämpösäteilyssä pienentyneen häviön oletettiin nostavan kannakkeen lämpötilaa joka on eristyksen sisällä, jolloin syntyy oletus että kannakkeen pinta tukipalkkia vasten olisi kuumempi. Lämpökuvista huomattiin kumminkin jo, ettei tukipalkin lämpötila noussut merkittävästi.

Laskuissa otetaan huomioon eristysmallien eroavaisuudet. Tämä johtuen siitä, että malli A:n eristystavalla kannakkeen pohjaa jää näkyviin, joten siinä konvektiota ja lämpösäteilyä tapahtuu enemmän kuin malli B:n eristystavalla.

Kannakkeen keskilämpötila eristyksen jälkeen oli  $95,475 \text{ °C}$  ( $T_1$ ), tukipalkin  $2,2 \text{ °C}$  ( $T_2$ ) ja ulkolämpötila  $-4 \text{ °C}$  ( $T_3$ ). Kannakkeen lämpötilasta ja ulkolämpötilasta saadaan keskiarvoksi  $45,73 \text{ °C}$ , joten pyöristetään lukemaan  $50 \text{ °C}$ , jonka mukaan otetaan ilman tiedot  $1 \text{ atm:n}$  paineessa. Nämä tiedot ovat siis täysin samat kuin ennen eristystä käytettävissä laskuissa [9].

### 7.3.1 Malli A

Malli A:n kannakkeen lämpötila oli 113,85 °C ja tukipalkin lämpötila oli 3 °C. Lämpötilojen lisäksi laskuissa käytetyt pinta-alat muuttuivat, sillä osa kannakkeesta jäi näkyviin ja osa oli eristyksen sisällä.

$A_{kA}$  on enää vain 0,0952m<sup>2</sup>, sillä kannakkeesta on näkyvissä enää vain pohja.

$$Q_{JA} = kA_{Tuki} \frac{dT}{dx} =$$

$$(50 \text{ W/m} \cdot \text{K}) * 0,01955 \text{ m}^2 * \left( \frac{(113,85 + 273,15 \text{ K}) - (3 + 273,15 \text{ K})}{0,12 \text{ m}} \right)$$

$$= 902,965 \text{ W} = 902,97 \text{ W}$$

$$Q_{KA} = h * A_{KA} * (T_1 - T_3)$$

$$= \left( \frac{16,146 \text{ W}}{\text{m}^2} * k \right) * (0,0952 \text{ m}^2) * (387,0 \text{ K} - 269,15 \text{ K}) = 181,147 \text{ W}$$

$$Q_{SA} = \varepsilon * \sigma * A_{KA} * (T_1^4 - T_3^4) =$$

$$0,85 * (5,67 * 10^{-8}) * 0,0952 \text{ m}^2 * [(387,0 \text{ K})^4 - (269,15 \text{ K})^4]$$

$$= 78,838 \text{ W}$$

Laskujen avulla saimme tietoon johtumisesta, konvektiosta ja säteilystä johtuvat lämpöhäviöt kannakkeessa, kun se on eristetty mallin A mukaisesti.

- johtuminen  $Q_{JA} = 902,97 \text{ W}$
- konvektio  $Q_{KA} = 181,15 \text{ W}$
- säteily  $Q_{SA} = 78,84 \text{ W}$
- $Q_{A \text{ Total}} = 1\,163 \text{ W}$

### 7.3.2 Malli B

Malli B:n kannakkeen lämpötila oli  $109 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ja tukipalkin lämpötila oli  $3,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Lämpötilojen lisäksi laskuissa käytetyt pinta-alat muuttuivat, sillä osa kannakkeesta jäi näkyviin ja osa on eristyksen sisällä.

$A_{kB}$  on sama kuin  $A_{Tuki}$ , sillä kannakkeesta ei ole enää tukipinta näkyvillä.

$$Q_{JB} = k A_{Tuki} \frac{dT}{dx} =$$

$$(50 \text{ W/m} \cdot \text{K}) * 0,01955 \text{ m}^2 * \left( \frac{(109 + 273,15 \text{ K}) - (3,7 + 273,15 \text{ K})}{0,12 \text{ m}} \right)$$

$$= 857,756 \text{ W} = 857,76 \text{ W}$$

$$Q_{KB} = h * A_{KB} * (T_1 - T_3)$$

$$= \left( \frac{16,146 \text{ W}}{\text{m}^2} * k \right) * (0,01955 \text{ m}^2) * (382,15 \text{ K} - 269,15 \text{ K}) = 35,668 \text{ W}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{SB} &= \varepsilon * \sigma * A_{KB} * (T_1^4 - T_3^4) = \\
 0,85 * (5,67 * 10^{-8}) * 0,01955 m^2 * [(382,15 K)^4 - (269,15 K)^4] \\
 &= 15,150 W
 \end{aligned}$$

Laskujen avulla saimme tietoon johtumisesta, konvektiosta ja säteilystä johtuvat lämpöhäviöt kannakkeessa, kun se on eristetty mallin B mukaisesti.

- johtuminen  $Q_{JB} = 857,76 \text{ W}$
- konvektio  $Q_{KB} = 35,67 \text{ W}$
- säteily  $Q_{SB} = 15,15 \text{ W}$
- $Q_{A \text{ Total}} = 909 \text{ W}$

#### 7.4 Yhteenveto

Saaduista tuloksista voidaan todeta, että lämpöhäviöt pienentyvät eristyksien avulla. Tehokkaampi eristystapa on malli B, mutta on myös huomioitava, että se on kalliimpi ratkaisu. Kannakkeille ei tehty muuta kuin eristys, mutta tuloksissa on huomioitava myös olosuhteiden muutokset. Kuvausten välillä ilman lämpötilan vaihtelu oli  $16 \text{ }^\circ\text{C}$ , mutta mikäli olosuhteet olisivat olleet identtiset, eivät lämpöhäviöt olisi pienentyneet niin paljoa.

Käytännössä lämpökuvauksien avulla saadut kannakkeen lämpötilat eivät eroa eristystä ennen ja jälkeen kuvissa kuin  $1 - 5,2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tukipalkin lämpötila taas eroaa kuvausten välillä  $8 - 8,7 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tästä voidaan päätellä, että olosuhteiden muutoksella oli suurempi vaikutus johtumisen lämpöhäviöön kuin eristyksellä. Tämän perusteella voidaan todeta, että lämpöhäviöiden vaihtelu on erittäin verrannollinen ilman lämpötilaan ja muihin olosuhteisiin, jotka vaikuttavat tukipalkin lämpötilaan.

Edellä mainituista syistä johtuen keskityttiin vertailemaan konvektiossa ja säteilystä tapahtuvia muutoksia, sillä ne ovat enemmän riippuvaisia eristyksestä. Ennen eristystä saatiin seuraavat tulokset:

- konvektio  $Q_K = 545,6 \text{ W}$
- säteily  $Q_S = 223,5 \text{ W}$                        $Q_{\text{Total}} = 769,3 \text{ W}$

Eristyksen jälkeen saatiin molemmille eristystyypeille omat tulokset:

- konvektio  $Q_{KA} = 181,147 \text{ W}$
- säteily  $Q_{SA} = 78,838 \text{ W}$                        $Q_{A \text{ Total}} = 259,9 \text{ W} (-509,4 \text{ W})$
- konvektio  $Q_{KB} = 35,668 \text{ W}$
- säteily  $Q_{SB} = 15,150 \text{ W}$                        $Q_{B \text{ Total}} = 50,8 \text{ W} (-718,4 \text{ W})$

Tuloksista havaitaan siis, että mallin B eristys pienentää lämpöhäviöitä enemmän kuin mallin A eristys. Tähän vaikuttavat mallien eroavaisuudet, sillä malli B peittää enemmän kannaketta ja siten olosuhteet ei pääse vaikuttamaan kannakkeeseen niin paljoa. Vastaavasti mallissa A kannakkeen pohja jää paljaaksi. Nämä seikat vaikuttavat todennäköisesti pidemmällä aikavälillä kannakkeiden eristyksen kuntoon.

Laskuissa ei ole huomioitu eristeiden läpi tapahtuvaa lämpöhäviötä. Käytössä olevat eristysmateriaalit eivät ole sataprosenttisesti eristäviä, vaan eristeen läpi pääsee myös hiukan siirtymään lämpöä. Eristeen läpi tulevasta lämmöstä voidaan puhua noin kymmenyksenä kokonaislämpöhäviöstä.

## 8 Kustannukset

Kustannuksia seurattiin mallikohtaisesti, jotta saadaan vertailtua eristystapojen hyötyjen lisäksi myös eristyksen kannattavuutta. Eristeiden kustannukset koostuvat työstä ja materiaaleista.

Eristykseen kuluva työ muodostuu eristemateriaalin esivalmistuksesta ja paikoilleen asennuksesta. Eristeratkaisu vaikuttaa siis hyvin pitkälti siihen, kuinka paljon aikaa kuluu valmistukseen ja asennukseen. Yleisesti jos esivalmistukseen käytetään enemmän aikaa, on eristeratkaisu iältään pitkäkestoisempi ja se kestää useampia kertoja purkamisen ja takaisin asennuksen.

Materiaalikustannukset riippuvat myös hyvin pitkälti eristysratkaisuista. Kannakkeiden asennuksessa oli kaksi eristysratkaisua ja materiaalit ovat suurin piirtein samat. Toinen eristysratkaisu oli kotelomallinen, joten materiaalin eroavaisuudet ovat lähinnä peltiruuvit ja lukot.

### 8.1 Malli A

Malli A:n kustannukset koostuvat materiaaleista ja työstä. Materiaalikulut koostuvat pel-listä, peltiruuveista ja villasta. Materiaalikustannukset ovat noin 24 % kokonaiskuluista.

Työstä aiheutuvat kustannukset ovat siis noin 76 % kokonaiskuluista. Työkustannukset koostuvat eristyksien esivalmistuksesta ja paikoilleen asennuksesta. Esivalmistuksen osuus työkuluista on 75 % ja kokonaiskuluista noin 57 %. Eristeen asennuksen osuus työkuluista on 25 % ja kokonaiskuluista noin 19 %.

### 8.2 Malli B

Malli B:n kustannukset koostuvat myös materiaaleista ja työstä. Materiaalikulut koostuvat muuten samasta kuin mallissa A, mutta kun kyseessä on kotelo, niin siihen on myös laitettu lukot, jotka pitävät kotelon kiinni. Materiaalikustannukset malli B:ssä ovat noin 41 % kokonaiskustannuksista.

Työkustannukset koostuvat samoista kuin mallissa A eli esivalmistuksesta ja paikoilleen asennuksesta. Kokonaiskuluista työkulut ovat 59 %. Työkulut jakautuvat molemmilla malleille täysin samalla tavalla, eli esivalmistus on 75 % ja asennus 25 % työkuluista. Kokonaiskuluja tarkastellessa esivalmistuksen osuus on 44 % ja asennuksen kustannukset ovat 15 %.

### 8.3 Mallivertailu

Kustannuksia vertaillen mallien välillä huomataan muutamia yhtäläisyyksiä ja eroja. Töiden kokonaiskulut vaihtelevat mallien välillä, mutta työkustannuksien sisällä esivalmistus ja asennus ovat molemmilla malleilla samassa suhteessa. Tästä huolimatta malli B:n työkustannukset ovat kaksinkertaiset verrattaessa malli A:n työkustannuksiin.

Eron työkustannuksiin aiheuttaa mallien fyysinen kokoero. Mallit eroavat kooltaan huomattavasti, ja tämän voi havaita myös materiaalikustannuksissa. Mallin A materiaalikustannukset ovat nimittäin noin neljänneksen mallin B materiaalikustannuksista.

Kun materiaali- ja työkustannukset yhdistetään, saadaan kokonaiskustannukset. Kokonaiskustannuksia vertaillessa voidaan todeta mallin A olevan halvempi valmistaa ja asentaa. Mallin A kokonaiskustannukset ovat noin 40 % mallin B kokonaiskustannuksista.

Malli A on siis kaikilta kustannuksiltaan halvempi valmistaa. On kuitenkin syytä muistaa, että malli B on fyysisesti isompi ja se on tehty koteloksi. Koteloratkaistu tarkoittaa sitä, että se on nopeampi purkaa ja asentaa takaisin. Tämän lisäksi koteloratkaistu on yleensä pitkäikäinen. On siis syytä huomioda se, että mallin B käyttöikä saattaa olla pidempi, jolloin kustannuksien ja käyttöiän suhdetta vertaillessa malli B voi olla edullisempi eristysratkaistu. Eristyksien ikää ja kestävyyttä pitää siis seurata, jotta saadaan lopullinen tieto kustannuksien kannalta järkevämpään vaihtoehtoon.

## 9 Yhteenveto

Tämä insinööritö tehtiin toimeksiantona Nesteen kehitysosastolle. Työn tavoitteena oli tutkia eristeiden energia tehokkuutta. Työtä rajattiin tutkimalla eristeiden heikkoja kohtia ja tutkittavaksi kohteeksi valikoitui 100 bar höyrylinjan kannakkeet ja niiden eristämisen kannattavuus.

Työn aikana saatujen havaintojen ja tuloksien perusteella kannakkeen sijainti linjalla ei vaikuttanut merkittävästi sen lämpötilaan. Molemmat eristysmallit todettiin hyviksi ratkaisuiksi. Tuloksilla havaittiin lämpöhäviöiden pienenevän 500 – 700 W eristysmallista riippuen. Tässä ei ole huomioitu eristyksen läpi tulevaa lämpöhäviötä, joka on noin 15 %.

Saatujen tuloksien perusteella voimme todeta, ettei sellaisten linjojen joiden käyttölämpötila on matalampi kuin 100 bar höyrylinjan, kannakkeita kannata eristää. Saadut tulokset on mitattu talviolosuhteissa, jolloin lämpöhäviöt ovat suurimmillaan. Mikäli tilannetta havainnoidaan uudestaan kesällä, jolloin olosuhteet ovat hyvin erilaiset, niin suurella todennäköisyydellä tulokset ainakin puolittuvat. Olisi syytä siis tarkkailla tilannetta uudestaan toisen ääripään olosuhteissa kannattavuuden, sekä myös eristeiden toimivuuden



kannalta. Laskennallisesti kesäolosuhteet saataisiin jo nyt laskettua, mutta juuri eristeiden kunnon säilymisen kannalta olisi hyvä suorittaa myös uudet lämpökuvaukset silloin. Tämän jälkeen olisi molemmat ääripääolosuhteet tutkittu ja näistä saataisiin laskettua koko vuoden keskiarvo lämpöhäviöille. Pidemmän ajan tutkimisella havaittaisiin mahdollisia ongelmia, joita eristysten ja linjan elämisen kanssa voi tulla, ja tämän perusteella eristysmalleja voitaisiin muokata kohteeseen soveltuvammiksi.

Pidemmällä aikavälillä tarkkaillessa selviäisi, miten eristysten kunto on muuttunut. Pystyttäisiin myös vertaamaan, onko eristysten pintalämpötila muuttunut tai onko jompikumpi eristysmalleista kärsinyt enemmän vaurioita kuin toinen putken elämisen johdosta. Kuntotarkkailun avulla voitaisiin arvioida paremmin, kumpi eristysmalleista olisi edullisempi ratkaisu. Valmistuskustannukset eroavat mallien välillä ja kannattavuus riippuu hyvin pitkälti eristysten käyttöiästä.

Näiden havainnointien jälkeen saadaan kannakkeen eristämisen hyödyistä ja kannattavuudesta paljon realistisempi kuva.

Yleisellä tasolla havaittuja asioita oli muun muassa lämpökameran käyttö eristysten kunnon tarkkailussa. Lämpökameralla saatiin havaittua erittäin hyvin vanhoissa eristeissä tulleita lämpövuotoja. Lämpökameralla pystyttiin tarkastelemaan uusitun eristeen pinnan lämpöä, jonka avulla voidaan seurata eristeiden tehokkuuden heikentymistä.

## Lähteet

- 1 Neste Oil Porvoon tuotantolaitokset 2014. Verkkodokumentti. Neste Oyj. Viitattu 5.1.2016
- 2 Neste yleisesitys 2015. Verkkodokumentti. Neste Oyj. Viitattu 5.1.2016
- 3 Suomen tuotanto 2015. Verkkodokumentti. Neste Oyj. Viitattu 5.1.2016
- 4 Prosessiputket, 2016, verkkodokumentti. Paroc Oy <<http://www.paroc.fi/ratkaisut-tuotteet/ratkaisut/prosessteollisuus/prosessiputket>>. Luettu 12.1.2016
- 5 Spesifikaatio L101. Rev.15. Neste spesifikaatio.
- 6 Ahola Asmo, mekaaninen päällikkö. 2015. Neste Jacobs, Porvoo. Suulliset tiedonannot 12.11.2015.
- 7 Hietanen Osmo, eläköitynyt tekninen johtaja. 2015 Arme, Vantaa. Suulliset tiedonannot 26.11.2015.
- 8 Julin Jukka, eristevalvoja. 2015 - 2016, Neste, Porvoo. Suulliset tiedonannot 11/2015 – 2/2016.
- 9 Cenge Yunus A, Ghajar Afshin J. 2011, The McGraw-Hill companies, New York. Heat and Mass Transfer Fundamentals and Applications.

## 100 bar höyrylinjan tekniset tiedot

Lastija issued by  
 VMA

P6703  
 Parvämäärä Date  
 3.2.1986

Lehti Sheet Count  
 1

VOIMALAITOS - PORVOO B välinen 100 BAR'in  
 höyrylinja

Voimalaitoksesta siirretään 100 bar'in  
 höyryä PORVOO B:lle reformointi 3:n  
 korkeapainekompressorin GB-10332:n  
 vastapaineturbiinille.

linjatunnus	150 YS 10301 - FBA
ulkohalkaisija	193.7 mm
sisähalkaisija	149.3 mm
materiaali	10Cr Mo 910
eristyspaksuus	246 mm
suunnittelu- paine	10690 kPa
suunnittelu- lämpötila	540 °C
käyttö paine	9800 kPa
käyttö lämpötila	520 °C
virtausmäärä norm / max	26 t/h / 32 t/h
painehäviö norm	1100 kPa

